

EVALUASI HAZOP UNTUK ANALISIS KEBUTUHAN SAFETY INTEGRITY LEVEL DENGAN METODE (FLOPA) FUZZY LAYER OF PROTECTION ANALYSIS PADA WASTE HEAT BOILER DI INDUSTRI ASAM FOSFAT

Muhammad Agung Efendi¹⁾, Galih Anindita²⁾, dan Novi Eka Mayangsari³⁾

¹Jurusan Teknik Pemesinan Kapal, Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

^{2,3}Jurusan Teknik Pemesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo Surabaya, 60111

E-mail: mail.agungefendi@gmail.com

Abstract

Waste heat boiler (WHB) in the phosphoric acid industry is a closed vessel-shaped appliance which purposes to generate steam for drive generator turbines and cooling SO₂ to convert in form of SO₃. WHB has a risk that can affect people, companies and environment. In this study, This research to evaluate Hazard and operability study (HAZOP) to identify potential hazards and risk from those hazards. The fuzzy layer of protection analysis (FLOPA) was used to evaluate the existing protective layer in the developed scenario from HAZOP and get an intermediate event likelihood (IEL) value used for determining the required level of safety integrity level (SIL). This study use a fuzzy approach in an assessment of the scenarios that have been analyzed. The results of HAZOP indicate that at node 1 there are 16 risks (medium category), node 2 is 11 (medium category), and node 3 is 1 (medium category) which are further developed into 7 LOPA scenarios, in FLOPA analysis shows that there is the highest risk in the 1st scenario with the RRF value of 14.7 including the SIL category 1 and the recommendation of adding the alarm so that the RRF value to 3,944 belongs to the NSSR category (not necessary safety requirement).

Keywords: HAZOP, LOPA, Fuzzy, Waste heat boiler, SIL

Abstrak

Waste heat boiler (WHB) pada industri asam fosfat merupakan suatu peralatan berbentuk bejana tertutup yang berfungsi untuk menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin generator dan mendinginkan SO₂ untuk keperluan proses konversi menjadi SO₃. WHB memiliki resiko bahaya yang dapat berdampak bagi manusia, perusahaan dan lingkungan. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi Hazard and operability study (HAZOP) untuk mencari tahu potensi bahaya dan resiko dari bahaya tersebut, selanjutnya digunakan Metode fuzzy layer of protection analysis (FLOPA) untuk mengevaluasi lapisan pelindung yang sudah ada pada skenario yang dikembangkan dari HAZOP dan di dapatkan nilai intermediate event likelihood (IEL) yang digunakan untuk penentuan tingkat safety integrity level (SIL) yang dibutuhkan. Pada penelitian ini menggunakan pendekatan fuzzy untuk digunakan dalam suatu penilaian dari skenario yang telah dianalisis. Hasil dari HAZOP menunjukkan bahwa pada node 1 terdapat 16 resiko (kategori sedang), node 2 terdapat 11 (kategori sedang), dan node 3 terdapat 1 (resiko sedang) yang selanjutnya dikembangkan menjadi 7 skenario LOPA, pada analisis FLOPA menunjukkan bahwa terdapat resiko tertinggi pada skenario ke 1 dengan nilai RRF yaitu 14.7 termasuk kategori SIL 1 dan dilakukan rekomendasi penambahan alarm sehingga nilai RRF menjadi 3.944 termasuk kategori NSSR (not necessary safety requirement).

Kata Kunci: : HAZOP, LOPA, Fuzzy, Waste heat boiler, SIL

PENDAHULUAN

Boiler di Sulphuric acid (SA) plant dengan tekanan kerja normal ±40 bar dengan bahan bakar panas gas SO₂ hasil dari sulfur furnace dengan rate 164Nm³/h yang mengalir melewati fire tube (Wuhuan, 2010). Adanya

potensi bahaya pada *boiler* diantaranya meledak, tekanan yang berlebihan, kebocoran, *overheating* dan lain-lain. Faktor sumber daya manusia juga berpengaruh terhadap pengoperasian *boiler*. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lapisan pelindung dan penilaian risiko pada *boiler*. Untuk menanggulangi bahaya-bahaya yang telah diidentifikasi diperlukan evaluasi HAZOP untuk menganalisa bahaya-bahaya termasuk deviasi dan *cause* yang mungkin terjadi pada fase *routine operation*. Dan dilakukan analisis lapisan-lapisan pelindung pada skenario kegagalan menggunakan *layer of protection analysis* (LOPA) hasil frekuensi kegagalan skenario setelah dibandingkan dengan batas toleransi kegagalan maka dapat diketahui kebutuhan *Safety integrity level* (SIL) pada skenario kegagalan tersebut, rekomendasi dilakukan pada skenario yang mendapatkan nilai SIL yang tidak sesuai (nilai SIL 1 s/d 4), hingga menjadi SIL 0 (*not necessary safety requirement*).

Analisis LOPA dengan berbasis *fuzzy Layer of protection analysis* (FLOPA) juga diterapkan. Dalam penelitian sebelumnya penerapan sistem *fuzzy* pada analisis LOPA yang melibatkan banyak variabel dan ketidakpastian yang terkait dengan masing-masing variabel relatif tinggi, aplikasi *fuzzy* dapat membuat hasil akhir yang lebih baik (Khalil *et al.*, 2012; Renjith and Samuel, 2017). FLOPA dengan sistem *fuzzy* bertingkat (*cascade*) adalah metode yang efektif, efisien dan handal diperlukan dalam sebuah penilaian risiko sehingga memberi hasil penilaian yang lebih baik, mudah diterapkan, dan akurat (Markowski. & Mannan) 2008. FLOPA mempermudah proses penentuan SIL berdasarkan *risk* matrik dan frekuensi *event*. Hal inilah yang mendasari melakukan penelitian ini dengan judul Evaluasi HAZOP untuk analisis kebutuhan *safety integrity level* (SIL) dengan metode *fuzzy layer of protection analysis* (FLOPA) pada *waste heat boiler* pada industri asam fosfat.

METODE PENELITIAN

HAZOP

Hazard and operability study (HAZOP) adalah metode analisis potensi bahaya pada deviasi dari suatu parameter sistem atau desain proses (Clifton and Ericson, 2005). Konsep ini melibatkan investigasi bagaimana kondisi proses bisa menyimpang dari desain awal. HAZOP didasarkan pada prinsip bahwa beberapa ahli dengan latar belakang yang berbeda dapat berinteraksi dan mengidentifikasi proses. Tahap evaluasi HAZOP dilakukan peninjauan bahaya pada HAZOP yang lama. Evaluasi HAZOP dilakukan untuk mengevaluasi potensi bahaya sebelumnya untuk memperhitungkan pengalaman operasional yang terjadi sejak start-up meliputi bahaya, risiko, *cause* serta *safeguard* yang ada pada *Waste heat Boiler* sehingga diketahui informasi yang digunakan pada analisis lapisan pelindung, dengan nilai risiko berdasarkan *probability* (P) dan *severity* (S) dengan level sedang dan tinggi yang bisa terjadi.

LOPA

Layer of Protection Analysis (LOPA) adalah analisis yang dikembangkan dimulai dengan data dalam studi HAZOP dan analisis yang memperhitungkan setiap bahaya yang teridentifikasi dengan mendokumentasikan penyebab awal dan lapisan pelindung yang mencegah atau mengurangi bahaya (IEC 61511, 2003). LOPA adalah metode untuk mengevaluasi lapisan pelindung, dengan menentukan *initiating event* (IE), dan *independent protective layer* (IPL) guna mendapatkan frekuensi skenario atau *intermediate event likelihood* (IEL).

FUZZY-LOPA

Fuzzy logic digunakan dengan LOPA, menjadikan *Fuzzy-LOPA* metode untuk menentukan SIL *rating* dari SIF yang dibutuhkan (Khalil *et al.*, 2012), langkah-langkah dalam melakukan analisis dengan *Fuzzy-LOPA* yaitu :

1. Identifikasi skenario
2. Identifikasi *initiating event* & frekuensi
3. Identifikasi IPL dan total PFDs
4. Menghitung total *severity* sistem *Fuzzy*
5. Menghitung SIL *rating* sistem *Fuzzy*

HASIL DAN PEMBAHASAN

EVALUASI HAZOP

Pada proses *waste heat boiler* dilakukan peninjauan bahaya secara bekala, Evaluasi HAZOP dilakukan untuk mengevaluasi potensi bahaya sebelumnya untuk memperhitungkan pengalaman operasional yang terjadi sejak *start-up* (CCPS, 2008). Berikut pembaian node serta hasil dari evaluasi HAZOP seperti pada Tabel 1 Evaluasi HAZOP.

Tabel 1
Evaluasi HAZOP

No.	Study Nodes	Deviation	Consequence	Risk
1	Waste heat boiler	6	32	16 Resiko (sedang) dan 16 resiko (rendah)
2	Superheater	4	17	11 Resiko (sedang) dan 6 resiko (rendah)
3	Boiler Blowdown continue	3	6	1 Reiko (sedang) dan 5 resiko (rendah)
4	Sampling Cooler	1	3	3 resiko (rendah)

Sumber : Hasil Penelitian, 2018

ANALISIS LOPA

Pengerjaan LOPA dilakukan dimana didapatkan skenario berdasarkan HAZOP dengan kategori resiko sedang dan tinggi. Skenario adalah suatu kejadian atau rangkaian kejadian yang tidak direncanakan yang menimbulkan akibat yang tidak diinginkan (CCPS, 2001), Skenario setidaknya memiliki *initiating event* dan *consequence*. Risiko bahaya yang telah teridentifikasi menggunakan metode HAZOP pada *waste heat boiler* selanjutnya dianalisis dengan menggunakan metode LOPA untuk mengetahui kecukupan lapisan pelindung yang ada.

Analisis didapatkan yaitu : Skenario 1 *Low/Less Temperature steam drum*, diakibatkan kerusakan pada isolasi pipa maupun *firebrick*, Skenario 2 *High/More Pressure pada steam drum* diakibatkan oleh pipa aliran *steam* tertutup dikarenakan kegagalan dari *control valve* HCV-1102 dan TCV-1103, Skenario 3 *Low/Less Level pada steam drum* akibat terganggunya aliran *boiler feed water* tertutup dikarenakan kegagalan dari LCV-1102, pipa *steam drum* buntu, pipa BFW tersumbat dan juga dikarenakan kebocoran pada pipa *flange* BFW, Skenario 4 *High/More Pressure pada pipe steam superheater* diakibatkan oleh aliran *steam* ke turbin generator tertutup dikarenakan kegagalan *valve* FCV-1102 dan *check valve*, Skenario 5 *High/More Temperature pada pipe steam* diakibatkan oleh pipa aliran *superhater spray* untuk mendinginkan pipa *steam* tertutup dikarenakan kegagalan *valve* TCV-1107 dan *check valve*, Skenario 6 *Low/Less Temperature pipe steam* diakibatkan oleh *loss performance heat exchanger superheater* dikarenakan *shell* atau *tube* pada *superheater* rusak/bocor, atau suhu SO₂/SO₃ dari *converter bed* 1 kurang dari 616 °C, Skenario 7 *High/More Pressure pada blowdown flash tank* diakibatkan oleh pipa aliran *steam* tertutup dikarenakan kegagalan dari *check valve*. Pengerjaan skenario LOPA pada Tabel 2 Analisis LOPA.

Tabel 2
Analisis LOPA

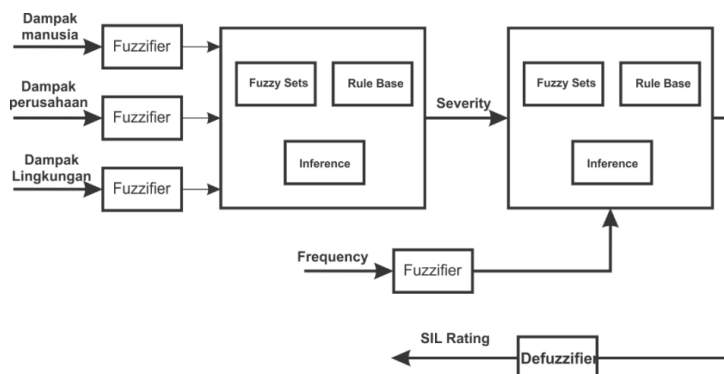
Skenario	frekuensi /year	IPL						Total IPL /year	Total IEL /year
		GPD	BPCS	HR	SIF	PP	PRP		
1	2,33	0.01	1	0.1	1	1	1	1x10 ⁻³	2,33 x10 ⁻³
2	3,46	0.01	1	0.01	1	0.0001	1	1x10 ⁻⁸	3,46 x10 ⁻⁸
3	6,34	0.01	1	0.01	0.1	0.0001	1	1x10 ⁻⁹	6,34 x10 ⁻⁹
4	1,69	0.01	1	0.01	0.0145	0.01	1	1.45x10 ⁻⁸	2,45x10 ⁻⁸
5	2,2	0.01	1	0.01	1	1	1	1x10 ⁻⁴	2,2 x10 ⁻⁴
6	6,15	0.01	1	0.01	1	1	1	1x10 ⁻⁴	6,15 x10 ⁻⁴
7	0,46	0.01	1	0.1	1	0.01	1	1x10 ⁻⁵	4.6 x10 ⁻⁵

Sumber : Hasil Penelitian, 2018

Frekuensi skenario didapatkan dari data kegagalan berdasarkan waktu operasi dari *waste heat boiler*. Dianalisis *independent protective layer* (IPL) antara lain *General process design* (GPD), *Basic process control system* (BPCS), *Human response* (HR) *Safety instrumented function* (SIF), *Physical protection* (PP), *Post release protection* (PRP) IPL. Penentuan nilai PFD didapatkan dari data IPL (CCPS, 2015). Total IPL adalah hasil total IPL yang ada. Dan total *Intermediate event likelihood* (IEL) adalah hasil perkalian antara frekuensi dengan Total IPL.

ANALISIS FUZZY LOPA

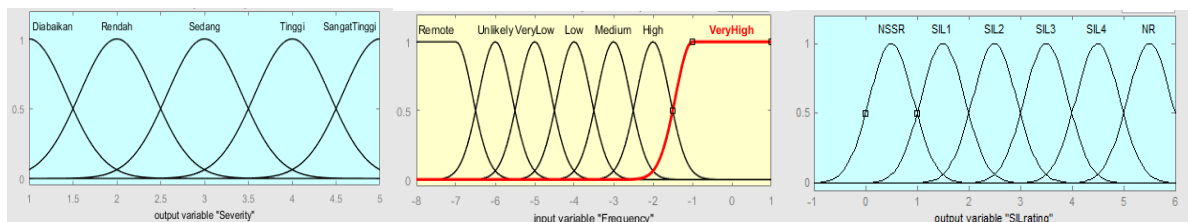
Fuzzy LOPA terdiri dari Sistem *Fuzzy severity* dan *fuzzy risk decision*. *fuzzy risk decision* terdiri dari masing-masing input dampak perusahaan, dampak manusia, dan dampak lingkungan, dengan keluaran *severity*. Sistem *Fuzzy Risk Decision* terdiri dari masing-masing input *severity* dan frekuensi dengan keluaran *SIL rating*. Seperti Gambar 1 Sistem fuzzy LOPA



Gambar 1 Sistem fuzzy LOPA

Sumber : Hasil Penelitian, 2018

Pada input Fuzzy severity terdiri dari dampak manusia, dampak perusahaan, dampak lingkungan dengan skala 1-10 berdasarkan berdasarkan tingkat severity risk matrik perusahaan dari masing-masing skenario. Output *Severity impact* memiliki range 1 - 5 hal ini menunjukkan bahwa *Seveirty* dibagi menjadi 5 kategori : Diabaikan, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi yang sesuai dengan kondisi perusahaan. Pada *Fuzzy risk decision* dengan input severity dan frekuensi dengan output SILrating seperti pada Gambar 2 *Fuzzy risk Decision*.



Gambar 2 Fuzzy risk Decision

Sumber : Markwoski, 2012

Pada input *frequency* digunakan skala ((-8)-1) menunjukkan kategori frekuensi dari yang terbesar “very high” sampai dengan yang terkecil “remote” yang diperoleh dengan cara : $\log_{10}(\text{IEL})$. Dengan output SIL rating digunakan skala ((-1)-6) menunjukkan kategori kebutuhan SIL yang diperoleh dengan cara : $10^{(\text{SIL Rating})}$. Pada skala SIL rating disesuaikan dengan tabel *Standart SIL* berdasarkan 2 faktor yaitu *severity* dan *frequency* dari masing-masing skenario berdasarkan 6 kategori SIL rating (Markwoski, 2012), yaitu SIL 1 s/d 4, satu infra level yaitu NSSR (*Not necessary safety requirement*) dan satu ultra level NR (*Not requirement*), pengerjaan fuzzy LOPA seperti pada Tabel 3 Analisis Fuzzy-LOPA

Tabel 3
Fuzzy-LOPA

Skenario	Frekuensi (/year)	Fuzzy LOPA					LOPA			
		Severity	Kategori	SIL _{rating}	RRF	Kategori	TMEL	SIL _{rating}	RRF	Kategori
1	2.33×10^{-3}	2.01	Minor - Serious	1.17	14.79	SIL 1	10^{-4}	1.367	23,3	SIL 1
2	3.46×10^{-8}	4.12	Hampir fatal - Katastropik	0.418	2.618	NSSR	10^{-6}	-1.46	0.034	NSSR
3	6.34×10^{-9}	4.61	Hampir fatal - Katastropik	0.816	6.546	NSSR	10^{-6}	-2.2	0.0063	NSSR
4	$2,45 \times 10^{-8}$	4.12	Hampir fatal - Katastropik	0.418	2.618	NSSR	10^{-6}	-1.61	0.024	NSSR
5	2.2×10^{-4}	2.01	Minor - Serious	0.573	3.741	NSSR	10^{-4}	0.34	2,2	NSSR
6	6.15×10^{-4}	1.86	Tidak berarti - Minor	0.981	9.571	NSSR	10^{-3}	-0.21	0.615	NSSR
7	4.6×10^{-5}	2.51	Minor - Serious	0.727	5.33	NSSR	10^{-4}	-0.33	0.46	NSSR

Sumber : Hasil Penelitian, 2018

Tabel 3 menunjukkan kategori SIL Fuzzy LOPA dan LOPA memiliki kesamaan pada masing-masing skenario, pada analisis fuzzy LOPA didapatkan hasil *Risk reduction factor* (RRF) dan kemudian didapatkan kategori SIL, Pada skenario 2, 3, 4, 5, dan 7 menunjukkan kategori NSSR, sedangkan pada skenario 1 menunjukkan kategori SIL 1, rekomendasi skenario 1 dengan penambahan *alarm* dimana terjadi penurunan kategori dari SIL 1 menjadi NSSR. Sehingga menunjukkan bahwa keadaan tersebut memiliki risiko yang kecil, dan tidak memerlukan tindakan lebih lanjut.

KESIMPULAN

Evaluasi HAZOP menunjukkan terdapat 7 skenario dengan kategori sedang, analisis Fuzzy-LOPA dari 7 skenario yang telah dipilih tersebut didapatkan hasil pada skenario 1 dengan nilai RRF (*risk reduction factor*) pada *range* 10-100 sehingga termasuk kategori SIL 1, pada skenario 2,3,4,5,6 dan 7 didapatkan nilai RRF pada *range* 1-10 termasuk kategori NSSR (*not necessary safety requirement*). Rekomendasi FLOPA dilakukan untuk resiko dengan kebutuhan kategori SIL 1 sampai dengan SIL 4. Pada skenario 1 dengan kategori SIL 1 dilakukan rekomendasi berupa penambahan indikasi/*alarm* pada *line* keluaran dari *steam drum*, sehingga pada analisis *fuzzy risk decision* didapatkan hasil yang semula nilai RRF yaitu 14.79 sehingga termasuk kategori SIL 1 menjadi 3.944 sehingga termasuk kategori NSSR, sehingga keadaan tersebut memiliki risiko yang kecil dan tidak memerlukan tindakan lebih lanjut. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dilakukan terhadap unit secara menuruh dan dapat menggunakan sistem *Graphical user interface* untuk memudahkan pengisian input sistem fuzzy.

DAFTAR PUSTAKA

- CCPS (2001) *Layer of Protection Analysis Simplified Process Risk Assessment*. New York: AIChE.
- CCPS (2008) *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 3rd Edition*. New York: AIChE.
- CCPS (2015) 'Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis'. New York: AIChE.
- Clifton and Ericson (2005) *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. New Jersey: Willey.
- IEC 61511 (2003) *Functional safety — Safety instrumented systems for the process industry sector* —. Swish: International Electrotechnical Commission.
- Khalil, M. *et al.* (2012) 'Cascaded fuzzy-LOPA risk assessment model applied in natural gas industry', *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 25.
- Lassen, C. A. (2008) *Layer of Protection Analysis (LOPA) for Determination of Safety integrity level*. The Norwegian University of Science and Technology.
- Markowski, A. S. and Mannan, M. S. (2008) 'Fuzzy risk matrix', *Journal of Hazardous Materials* 159.
- Wuhuan (2010) *Standart Operation Sulphuric Acid Plant*. Gresik: Wuhuan Engineering.4

(Halaman ini sengaja dikosongi)